

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS
HERZMINUTENVOLUMEN
UND DIE SAUERSTOFFAUFNAHME
IN RUHE UND BEI BELASTUNG IM KINDESALTER

Walter Sebening

1975

AUS DER KINDERKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Prof. Dr. K. BETKE

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS
HERZMINUTENVOLUMEN
UND DIE SAUERSTOFFAUFNAHME
IN RUHE UND BEI BELASTUNG IM KINDESALTER

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Walter Sebening
aus Mannheim

München 1975

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. K. BÜHLMAYER
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. K. BETKE
Dekan:	Prof. Dr. W. SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 22.7.1975



INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINFÜHRUNG	5
II.	METHODIK	8
	1. Untersuchungsgut	8
	2. Versuchsanordnung	9
	3. Meßanordnung	11
	4. Angewandte statistische Methoden	11
III.	ERGEBNISSE	12
IV.	DISKUSSION	28
V.	ZUSAMMENFASSUNG	31
VI.	LITERATURVERZEICHNIS	33
VII.	LEBENS LAUF	40



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546706_0034

I. EINFÜHRUNG

Die Veränderungen der Hämodynamik unter Belastung sind bei Erwachsenen schon häufig untersucht worden (KROGH und LINDHARD; LINDHARD; LILJESTRAND und ZANDER; BOCK et al.; DILL, TALBOTT und EDWARDS; CHRISTENSEN; KAHLSTORF und UDE; ASMUSSEN und NIELSEN; KAUFMANN; REEVES et al.; BEVEGARD, HOLMGREN und JONSSON 1960; 1963; GRANATH, JONSSON und STRANDELL; ASTRAND et al.; BECKLAGE et al.; EKELUND und HOLMGREN; EKBLOM et al.).

Dagegen liegen nur wenige Veröffentlichungen über die Kreislaufveränderungen während körperlicher Belastung im Jugend- und Kindesalter vor. Bis 1969 wurden unseres Wissens nur zwei Arbeiten publiziert, die sich mit dieser Problematik auseinandersetzen. GALLE fand bei zwei zwölfjährigen Jungen unter Verwendung der Stickoxydultmethode (nach KROGH und LINDHARD) sehr niedrige Werte des Herzminutenvolumens sowohl in Ruhe als auch unter Belastung, verglichen mit Erwachsenenwerten (siehe Abbildung 1, Seite 6). Die Untersuchungen von SCHNEIDER und CRAMPTON ergaben dagegen bei drei Jungen im frühen Adoleszentenalter im Vergleich zu jungen Erwachsenen kein abweichendes Verhalten des Herzminutenvolumens in Ruhe und bei steigenden Werten der Sauerstoffaufnahme (siehe Abbildung 1). Die Bestimmungen wurden ebenfalls mit einer Fremdgasmethode durchgeführt (Azetylenmethode nach GROLLMANN).

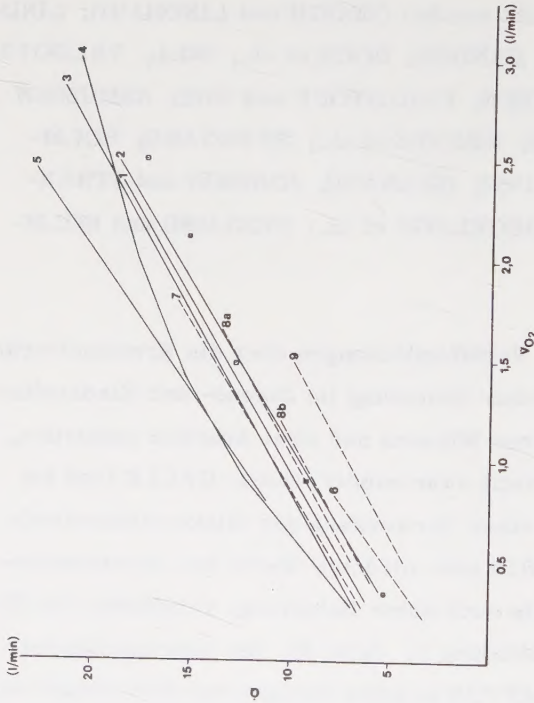


ABBILDUNG 1

Abhängigkeit des Herzminutenvolumens ($\dot{Q}$) von der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$) bei männlichen jungen Erwachsenen (ausgezogene Linie) sowie Kindern und Jugendlichen (gestrichelte Linien) in aufrechter Position. 1 BEVEGARD, HOLMGREN und JONSSON (1960); 2 REEVES et al.; 3 EKBLOM et al.; 4 ASMUSSEN und NIELSEN; 5 DILL, TALBOTT und EDWARDS sowie BOCK et al., zitiert nach BECKLAKE et al.; 6 GALLE; 7 SCHNEIDER und CRAMPTON; 8a, 8b GODFREY et al. (die beiden Kurven wurden entsprechend der mittleren Körperlänge unserer Probanden in beiden Altersgruppen aus der von den Autoren angegebenen Formel für Jungen berechnet, a entsprechend einer Körperlänge von 154,2 cm, b entsprechend einer Körperlänge von 137,7 cm); 9 BAR-OR, SHEPARD und ALLEN. $\square$ Mittelwerte von ERIKSON, GRIMBY und SALTIN (13- und 14-jährige Jungen).

Dieses Fehlen von Arbeiten über das kindliche Kreislaufverhalten liegt wohl daran, daß die üblichen blutigen Methoden zur Bestimmung des Herzminutenvolumens für Kinder doch beträchtliche Eingriffe darstellen. Es wurde deshalb versucht mit Hilfe der inzwischen technisch verbesserten CO_2 -Rückatmungsmethode (DOUGLAS und HALDANE) diese Schwierigkeiten zu überbrücken. GODFREY et al. bestimmten bei 6- bis 15-jährigen Jungen und Mädchen während submaximaler und maximaler Belastung am Fahrradergometer das Herzminutenvolumen und fanden, bezogen auf die Sauerstoffaufnahme, durchschnittlich etwas niedrigere Werte verglichen mit den Ergebnissen von EKBLOM et al. sowie von BEVEGARD, HOLMGREN und JONSSON. Außerdem ergab sich aus ihren Untersuchungen, daß die kleineren Kinder gegenüber den größeren bei gleicher Sauerstoffaufnahme ein etwas niedrigeres Herzminutenvolumen hatten. Sehr geringe Werte des Herzminutenvolumens wurden von BAR-OR, SHEPHARD und ALLEN bei 10- bis 13-jährigen Jungen und Mädchen bestimmt (siehe Abbildung 1). Sie benutzten ebenfalls die CO_2 -Rückatmungsmethode. Im Gegensatz zu GODFREY et al. stellten sie eine Geschlechtsabhängigkeit fest, der Gestalt, daß die Durchschnittswerte der Jungen noch unter denen der Mädchen lagen.

Auf Grund der divergierenden Ergebnisse wurden auch Untersuchungen mit der Farbstoffverdünnungsmethode (nach STEWART und HAMILTON) durchgeführt. Bei 13- und 14-jährigen Jungen fanden ERIKSON, GRIMBY und SALTIN, daß deren Herzminutenvolumen im unteren Normbereich der von EKBLOM et al. für Erwachsene angegebenen Beziehung zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzzeitvolumen lagen (siehe Abbildung 1). Ähnliche Werte ergaben die Untersuchungen von ERIKSON und KOCH bei 11- bis 13-jährigen Jungen.

Zur Klärung der Zusammenhänge zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzminutenvolumen bei Kindern erschienen weitere Untersuchungen erforderlich, wobei auch jüngere Altersgruppen einzubeziehen waren.

II. METHODIK

1. UNTERSUCHUNGSGUT

22 Jungen im Alter von 8 bis 14 Jahren wurden untersucht. Sie waren alle wiederholt wegen eines Herzgeräusches in der kardiologischen Ambulanz unserer Klinik kontrolliert worden. Weder durch die klinischen Befunde, die Thorax-Röntgenaufnahme, noch das Elektrokardiogramm, ließ sich ein Herzfehler sicher ausschließen. Eine Rechts-herzsondierung erschien indiziert, wobei für die in diese Untersuchung Aufgenommenen ein Vitium ausgeschlossen wurde.

Wir teilten die Kinder in zwei Gruppen ein: Jüngere Gruppe 8 bis 11,5 Jahre, ältere Gruppe 11,5 bis 14 Jahre. Die Mittelwerte und deren Standardabweichungen der beiden Gruppen wurden für Alter, Körperlänge und Körpergewicht berechnet und in Tabelle 1 (siehe Seite 9) aufgeführt. Verglichen mit den Normwerten von MEREDITH ergibt sich, daß die von uns untersuchten Jungen eine durchschnittliche Längen- und Gewichtsentwicklung aufweisen. Die meisten Kinder nahmen am Schulsport teil; einige betrieben auch Vereinssport.

TABELLE 1

Mittelwerte und Standardabweichungen von Alter, Körperlänge und Körpergewicht der Probanden. Die Körpermeßdaten wurden mit den Normwerten von MEREDITH verglichen (% ASL = Prozent der Alterssolllänge, % ASG = Prozent des Alterssollgewichts)

	Jüngere Gruppe 8 - 11,5 Jahre n = 10	Ältere Gruppe 11,5 - 14 Jahre n = 12
Alter (Jahre)	9,4 $\pm$ 1,2	12,8 $\pm$ 1,0
Körperlänge (cm)	137,7 $\pm$ 5,7	154,2 $\pm$ 12,3
% ASL	100,5 $\pm$ 3,4	100,6 $\pm$ 4,4
Körpergewicht (kg)	30,2 $\pm$ 5,2	43,3 $\pm$ 10,1
% ASG	98,6 $\pm$ 14,7	100,7 $\pm$ 14,6

2. VERSUCHSANORDNUNG

Die Untersuchungen wurden ambulant durchgeführt. Die Jungen wurden morgens in die Klinik gebracht, nachdem sie zu Hause bereits gefrühstückt hatten. Daraufhin wurden die Kinder klinisch untersucht und es wurde ein Elektrokardiogramm angefertigt. Anschließend unterrichteten wir die Eltern und die Jungen über den Gang der Untersuchung und die Methodik. Es folgte eine orientierende Untersuchung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit der W_{170} , d.h. der Leistung, die bei einer Pulsfrequenz von 170/min erbracht wird und zwar bei stufenweiser steigender Belastung entsprechend dem Vorschlag von BENGTSSON.

Der nächste Schritt war die Sondierung des rechten Herzens; hierbei wurde ein hämodynamisch wirksames Vitium ausgeschlossen. Von einer Cubitalvene des linken Armes, die unter Lokalanästhesie aufgesucht wurde, schoben wir den Katheter bis in die Arteria pulmonalis. Registriert wurden Drucke und Sauerstoffsättigungen in den einzelnen Abschnitten des venösen Systems. Anschließend legten wir einen Katheter mit endständiger Öffnung (Cournand F 6 oder 7) mit der Spitze in die Vena cava superior. In die ebenfalls freipräparierte Arteria brachialis der linken Ellenbeuge brachten wir eine Plastikvenüle ein. Darauf folgte eine Ruhepause von etwa 45 min. Anschließend wurden die Untersuchungen auf dem Fahrradergometer in Ruhe und zwei je sechsminütigen ununterbrochenen Belastungsstufen vorgenommen. Gleichzeitig wurden die Sauerstoffaufnahme, das Herzminutenvolumen und die Herzfrequenz bestimmt. Die Belastung wählten wir so, daß auf der zweiten Stufe eine Herzfrequenz von etwa 170/min erreicht wurde. Die Messungen wurden im relativen steady state vorgenommen, d.h. in den beiden letzten Minuten der jeweiligen Belastungsstufen. Zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme wurde die Ausatemungsluft über zwei Minuten gesammelt; das Herzminutenvolumen ermittelten wir durch Doppelbestimmungen. Die Herzfrequenz wurde telemetrisch fortlaufend registriert. Nach dieser Untersuchung wurden Katheter und Venüle entfernt und die Gefäße durch Naht verschlossen. Nach einer Beobachtungszeit von einigen Stunden entließen wir die Kinder wieder nach Hause.

3. MESSANORDNUNG

Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit benutzten wir ein drehzahlunabhängiges Fahrradergometer (nach HOLMGREN); der Proband sollte jedoch die Tretgeschwindigkeit konstant bei 60 Umdrehungen pro Minute halten. Die Pulsfrequenz wurde mit einer Telemetrieanlage durch Übermittlung des EKGs bestimmt. Ein R-Zacken gesteuerter Drucker registrierte fortlaufend die Pulssumme jeweils einer Minute. In einem Douglassack wurde die Ausatemungsluft gesammelt, in Ruhe über vier bis sechs Minuten, unter Belastung während der zwei letzten Minuten jeder der beiden Belastungsstufen. Nach Abschluß jeder Sammelperiode wurde eine Probe für die Gaskonzentrationsanalyse aus dem Douglassack entnommen. Für CO_2 verwandten wir ein Gerät, das nach dem Ultrarot-Absorptionsprinzip arbeitet. Die O_2 -Konzentration wurde auf paramagnetischer Basis bestimmt. Das Volumen der Ausatemungsluft ermittelten wir mit einer trockenen Gasuhr, indem wir sie maschinell aus dem Sammelsack absaugten.

Als Indikator für die Bestimmung des Herzminutenvolumens verwandten wir Cardio-green, das wir als Bolus in den venösen Katheter spritzten. Die Messungen wurden mit einem Densitometer durchgeführt, das jeweils nach einer vollständigen Untersuchung geeicht wurde.

4. ANGEWANDTE STATISTISCHE METHODEN

Für die statistische Auswertung der gewonnenen Daten benutzten wir folgende Gleichungen und Formeln:

Arithmetisches Mittel: $M = \frac{\sum x}{n}$

Mittlere quadratische Abweichung: $= \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$

Korrelationskoeffizient: $r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$

Regressionsgleichung: $y = bx + a$

Mittlere Abweichung der Regressionsgeraden: $s_{yx} = s_y \sqrt{1 - r_{xy}^2}$

Die Prüfung zweier Geraden auf Identität führten wir mit Hilfe des t-Testes durch (siehe Documenta Geigy - wissenschaftliche Tabellen, 6. Auflage, 1962, Kapitel Statistik, Formel Nr. 685).

III. ERGEBNISSE

Die von uns untersuchten Jungen wurden in zwei Altersgruppen eingeteilt. In Tabelle 2 und 3 sind die gemessenen individuellen Werte und die daraus errechneten Parameter während Ruhe und zweier submaximaler Belastungsstufen wiedergegeben. Die zu erbringenden Lei-

stungen waren entsprechend den Ergebnissen der vorangegangenen Bestimmung der W_{170} so gewählt worden, daß die Kinder am Ende der zweiten Stufe ungefähr eine Herzfrequenz von 170/min erreichten (siehe Tabelle 2 und 3, Seite 14 und 15).

Die in den obengenannten Tabellen enthaltenen Einzelwerte sind in den Abbildungen 2, 3, 4, 5 und 6 zur Veranschaulichung graphisch dargestellt. In Abbildung 2 ist die Sauerstoffaufnahme der Kinder beider Altersgruppen in Ruhe und bei Belastung in Abhängigkeit von der Leistung wiedergegeben (siehe Seite 16). Es ist ein linearer Anstieg des Sauerstoffverbrauches mit zunehmender Leistung zu erkennen. Die Regression folgt der Gleichung $y = 0,0125 x + 0,175$. Die mittlere quadratische Abweichung beträgt $s = 0,065$ l. Rein optisch ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede in verschiedenen Bereichen der Sauerstoffaufnahme. Wegen der Enge der Korrelation ($r = 0,982$) haben wir darauf verzichtet, die Unterschiede der beiden Altersgruppen durch getrennte Wiedergabe darzustellen.

Die Herzfrequenz der einzelnen Kinder in Ruhe und auf beiden Belastungsstufen bezogen auf die jeweilige Sauerstoffaufnahme wird durch Abbildung 3 verdeutlicht. Hier wurden die beiden Altersgruppen getrennt dargestellt. Ebenso zeigt Abbildung 4 die Beziehung zwischen Herzminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme. Abbildung 5 gibt den Zusammenhang der Einzelwerte zwischen arteriovenöser Sauerstoffdifferenz und Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht (KG) wieder. Schließlich veranschaulicht die Graphik Abbildung 6 die individuellen Werte des Schlagvolumens in Abhängigkeit von der gewichtsbezogenen Sauerstoffaufnahme (Abbildungen 3-6, siehe Seiten 17-20).

TABELLE 2

Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$), Herzfrequenz (HF), Schlagvolumen (SV), arteriovenöse Sauerstoffdifferenz (a-v O_2 -Diff.) und Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht ($\dot{V}_{O_2}/KG$) in Ruhe sowie auf zwei submaximalen Belastungsstufen bei Jungen im Alter von 8 - 11,5 Jahren. In der linken Spalte ist auch das Alter, die Körperlänge und das Körpergewicht angegeben.

			$\dot{V}_{O_2}$ l/min	HF min ⁻¹	$\dot{Q}$ l/min	SV ml	a-v O_2 -Diff. ml/100 ml	$\dot{V}_{O_2}/KG$ ml/min/kg
T.G.	8,1 J.	Ruhe	0,23	75	3,9	52	5,9	7,3
	135 cm	40 Watt	0,56	114	7,9	69	7,1	17,7
	31,5 kg	68 Watt	0,94	175	10,2	64	9,2	29,7
W.T.	11,3 J.	Ruhe	0,25	100	4,3	43	5,9	6,4
	148 cm	40 Watt	0,75	142	7,8	55	9,6	19,5
	38,6 kg	63 Watt	0,97	171	10,0	58	9,7	25,0
U.F.	9,5 J.	Ruhe	0,21	118	4,1	35	5,1	6,3
	141 cm	33 Watt	0,55	143	6,1	43	9,0	17,1
	32,2 kg	63 Watt	1,00	162	8,5	52	11,8	30,9
R.D.	11,3 J.	Ruhe	0,27	110	4,4	40	6,1	7,9
	139 cm	38 Watt	0,64	134	6,2	46	10,3	18,6
	34,1 kg	63 Watt	0,87	160	8,9	55	9,8	25,4
H.R.	8,9 J.	Ruhe	0,19	76	4,6	61	4,1	6,6
	139 cm	40 Watt	0,64	124	7,8	63	8,2	22,4
	28,7 kg	73 Watt	1,05	168	9,8	58	10,7	36,5
G.J.	8,7 J.	Ruhe	0,25	94	5,6	80	5,0	7,0
	143 cm	38 Watt	0,65	118	7,8	66	8,3	18,0
	36,0 kg	79 Watt	1,20	168	9,9	58	12,1	33,3
M.S.	8,9 J.	Ruhe	0,21	72	3,6	50	5,8	8,0
	133 cm	47 Watt	0,76	144	7,3	51	10,4	29,9
	25,5 kg	73 Watt	1,10	180	9,6	53	11,5	43,1
J.K.	8,5 J.	Ruhe	0,22	106	5,3	50	4,2	8,3
	134 cm	26 Watt	0,52	123	8,0	65	6,5	19,4
	27,0 kg	59 Watt	0,94	163	10,3	63	9,1	34,7
H.K.	8,4 J.	Ruhe	0,19	98	4,6	47	4,1	7,4
	128 cm	26 Watt	0,46	138	6,5	47	7,1	21,0
	21,7 kg	38 Watt	0,61	164	7,7	47	7,9	27,9
J.T.	10,2 J.	Ruhe	0,19	79	4,7	59	4,0	7,2
	136 cm	26 Watt	0,52	122	7,1	58	7,3	19,5
	26,4 kg	53 Watt	1,02	180	10,9	61	9,4	38,7

TABELLE 3

Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$), Herzfrequenz (HF), Schlagvolumen (SV), arteriovenöse Sauerstoffdifferenz (a-v O_2 -Diff) und Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht ($\dot{V}_{O_2}/KG$) in Ruhe sowie auf zwei submaximalen Belastungsstufen bei Jungen im Alter von 11,5 - 14 Jahren. In der linken Spalte ist auch das Alter, die Körperlänge und das Körpergewicht angegeben.

			$\dot{V}_{O_2}$ l/min	HF min ⁻¹	$\dot{Q}$ l/min	SV ml	a-v O_2 -Diff. ml/100 ml	$\dot{V}_{O_2}/KG$ ml/min/kg
A.S.	13,5 J.	Ruhe	0,30	102	8,9	87	3,4	5,1
	171 cm	688 Watt	1,04	140	11,7	84	8,9	17,4
	60,1 kg	118 Watt	1,51	169	19,1	113	7,9	25,2
T.N.	14,3 J.	Ruhe	0,38	97	6,4	66	5,9	7,0
	175 cm	53 Watt	0,95	121	12,8	106	7,4	17,5
	54,0 kg	108 Watt	1,43	161	14,8	92	9,7	26,5
C.W.	11,5 J.	Ruhe	0,19	109	6,8	62	2,8	5,7
	144 cm	33 Watt	0,58	150	9,6	64	6,0	17,6
	33,2 kg	53 Watt	0,82	170	11,5	68	7,1	24,8
S.H.	12,5 J.	Ruhe	0,26	78	3,9	49	6,7	6,7
	151 cm	73 Watt	1,05	129	9,2	70	11,3	26,8
	39,2 kg	108 Watt	1,53	159	12,9	79	11,9	39,1
G.W.	11,6 J.	Ruhe	0,26	100	4,1	41	6,3	6,5
	145 cm	63 Watt	0,93	162	12,2	75	7,6	23,4
	39,6 kg	79 Watt	1,20	178	14,5	81	8,3	30,2
G.V.	12,7 J.	Ruhe	0,25	78	5,6	72	4,5	6,6
	149 cm	73 Watt	1,08	146	11,8	81	9,2	28,4
	38,0 kg	98 Watt	1,50	172	12,1	71	12,4	39,5
W.S.	14,3 J.	Ruhe	0,29	89	6,8	75	4,3	5,7
	167 cm	84 Watt	1,17	148	10,3	70	11,4	22,9
	51,0 kg	128 Watt	1,81	182	12,2	67	14,8	35,5
R.K.	12,2 J.	Ruhe	0,27	83	3,9	47	6,9	7,1
	145 cm	40 Watt	0,72	114	8,3	73	8,7	18,9
	38,3 kg	79 Watt	1,16	160	14,4	90	8,1	30,2
P.A.	12,2 J.	Ruhe	0,21	101	4,8	48	4,4	6,7
	141 cm	31 Watt	0,52	130	6,1	47	8,5	16,9
	30,6 kg	63 Watt	0,86	161	8,4	52	10,2	28,2
H.R.	14,0 J.	Ruhe	0,39	87	6,4	74	6,1	6,7
	168 cm	63 Watt	1,05	128	10,0	78	10,5	18,0
	58,5 kg	128 Watt	1,87	176	16,9	96	11,1	31,9
D.B.	11,9 J.	Ruhe	0,19	80	6,5	81	2,9	5,4
	146 cm	38 Watt	0,60	113	9,8	87	6,1	18,0
	33,5 kg	63 Watt	1,00	144	12,2	85	8,2	29,9
R.S.	13,4 J.	Ruhe	0,20		5,5		3,6	4,6
	148 cm	47 Watt	0,73		7,9		9,2	16,9
	43,0 kg	79 Watt	1,23		9,2		13,4	28,5

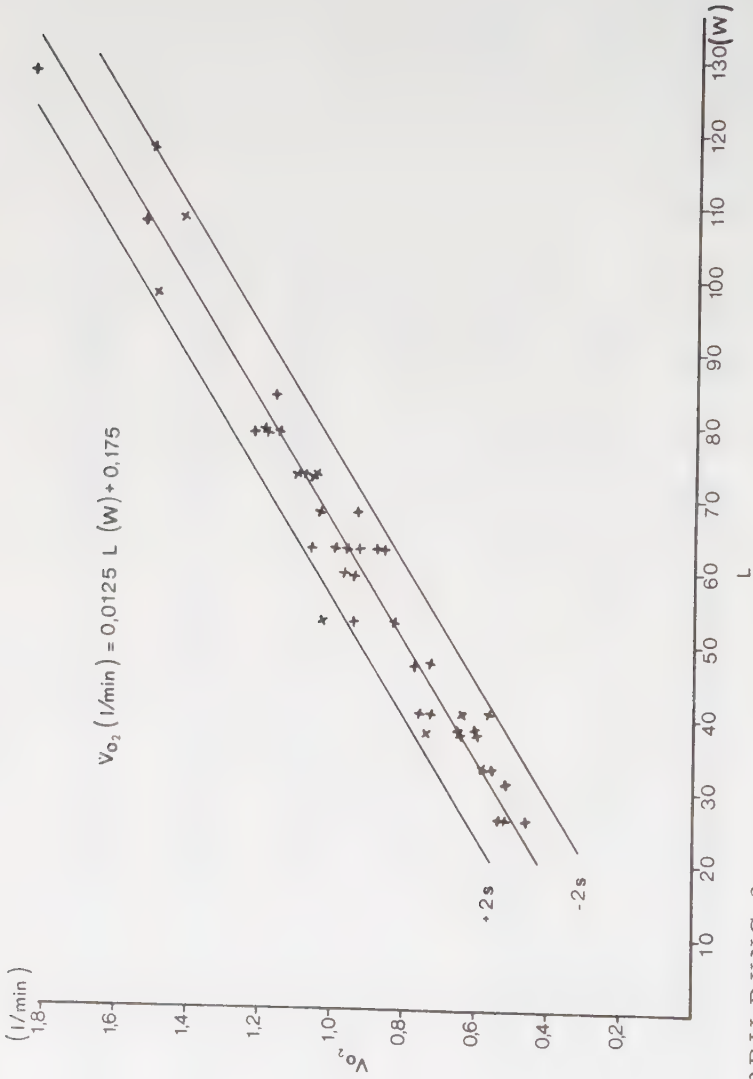


ABBILDUNG 2

Abhängigkeit der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$) von der Leistung (L) bei Jungen von 8 bis 14 Jahren. Einzelwerte, Regression und doppelter Standardbereich.

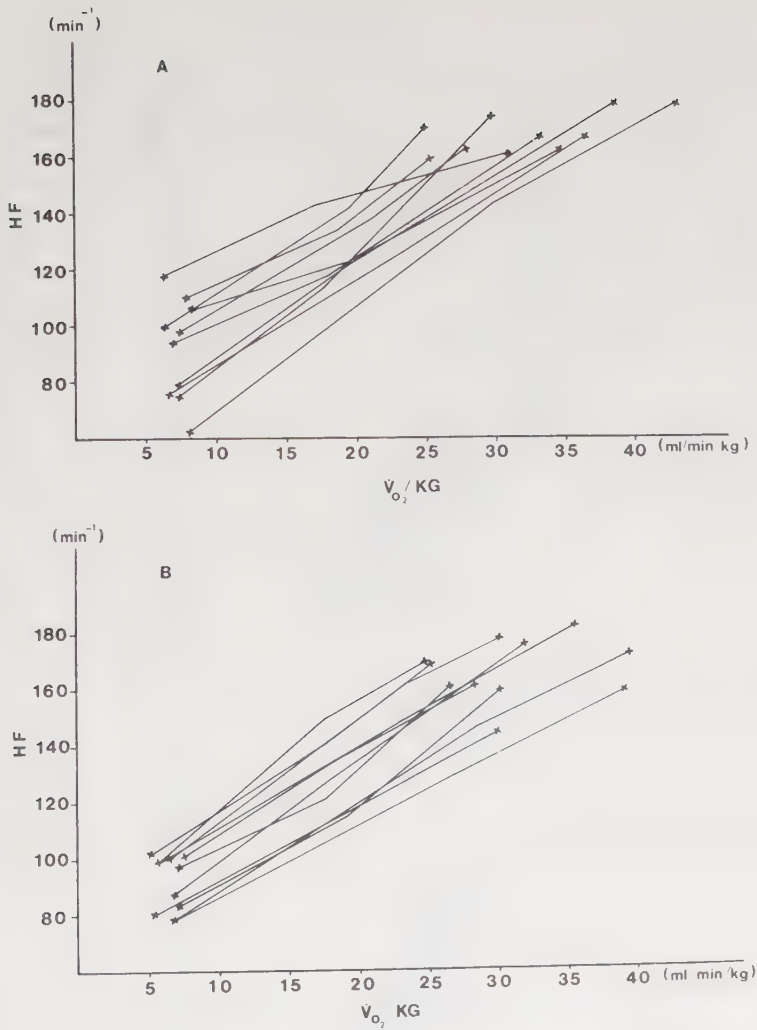


ABBILDUNG 3

Abhängigkeit zwischen Herzfrequenz (HF) und relativ gewichtsbezogener Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$ /KG): A 8- bis 11,5-jährige Jungen, B 11,5- bis 14-jährige Jungen.

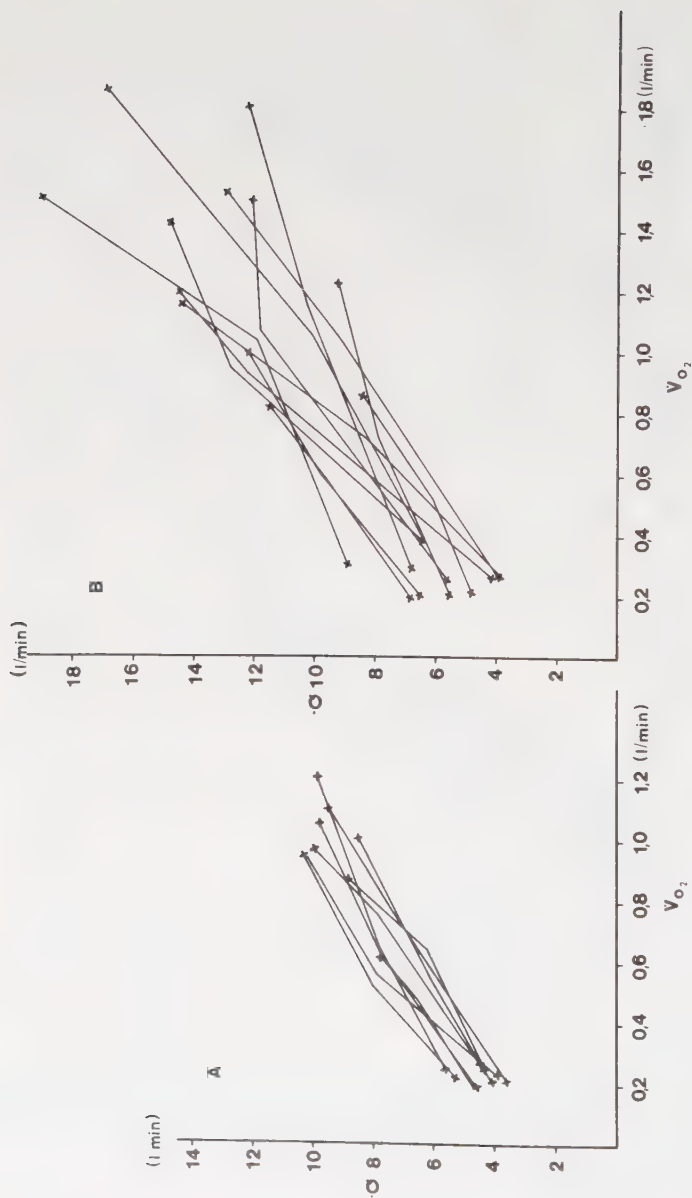


ABBILDUNG 4

Beziehungen zwischen Herzminutenvolumen ($\dot{Q}$) und Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$): A 8- bis 11, 5-jährige Jungen, B 11, 5- bis 14-jährige Jungen.

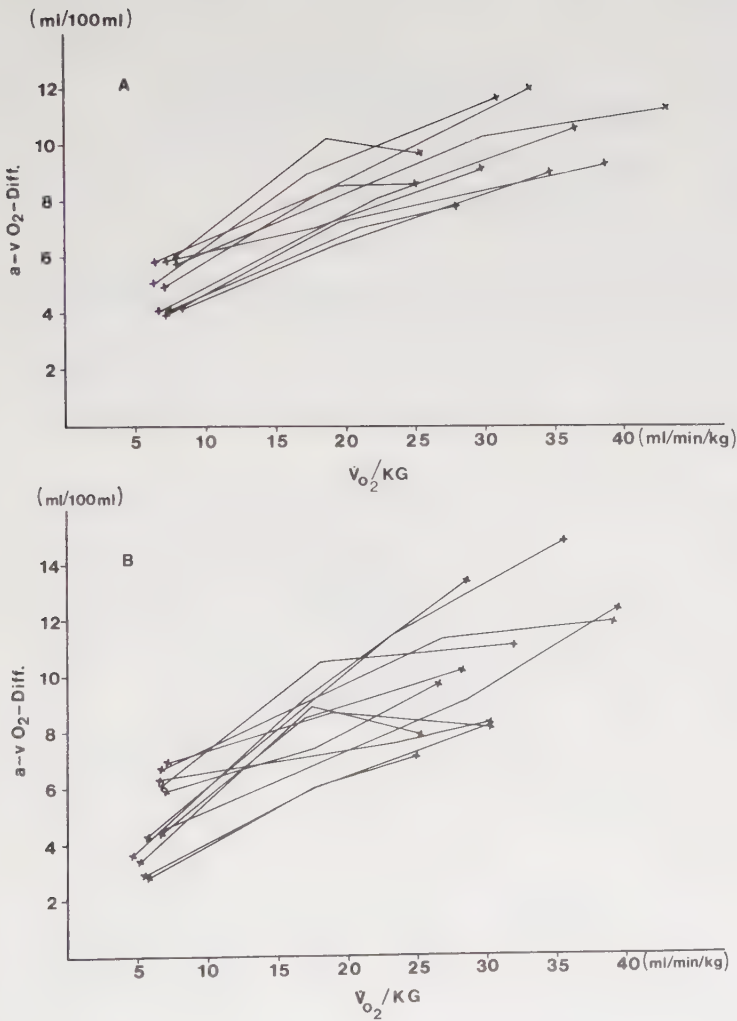


ABBILDUNG 5

Beziehungen zwischen arteriovenöser Sauerstoffdifferenz ($a-v O_2\text{-Diff.}$) und relativer gewichtsbezogener Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2/KG$):
 A 8- bis 11,5-jährige Jungen, B 11,5- bis 14-jährige Jungen.

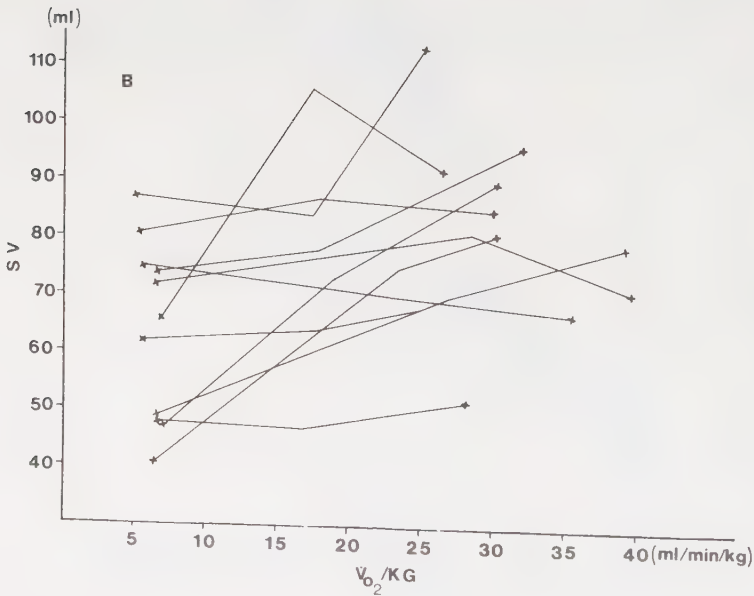
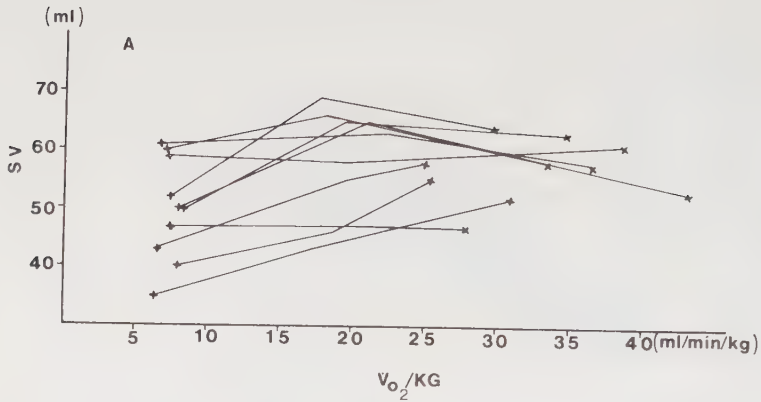


ABBILDUNG 6

Beziehungen zwischen Schlagvolumen (SV) und relativ gewichtsbezogener Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2/KG$): A 8- bis 11,5-jährige Jungen, B 11,5- bis 14-jährige Jungen.

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der von uns gemessenen und berechneten Werte in Ruhe und auf beiden Belastungsstufen sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Wieder haben wir die beiden Altersgruppen getrennt (Tabelle 4, siehe Seite 22). Dabei zeigt sich, daß sich die relativen, gewichtsbezogenen Werte der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}/\text{kg KG}$) in Ruhe sowie auf beiden Belastungsstufen im Mittel nur gering voneinander unterscheiden. Das Gleiche gilt für die mittleren Werte der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz und die Herzfrequenz. Es nehmen dagegen die in Ruhe nur geringen Unterschiede für die Herzminutenvolumina und die absoluten Werte der Sauerstoffaufnahme zwischen jüngeren und älteren Jungen mit der relativen Belastung zu.

Der Unterschied der Schlagvolumina zeigt sich schon in Ruhe deutlich zwischen den beiden Altersgruppen und nimmt bei Belastung noch zu. Auch ist zu sehen, daß die Zunahme des Schlagvolumens in der jüngeren Gruppe sehr gering ist, während bei den älteren Jungen noch eine Steigerung von der ersten zur zweiten Belastungsstufe erfolgt. In Abbildung 7 wird das Verhalten der Mittelwerte von Herzminutenvolumen ($\dot{Q}$), Herzfrequenz (HF), arteriovenöser Sauerstoffdifferenz (a-v O_2 -Diff.) und Schlagvolumen (SV) beider Altersgruppen in Beziehung zur relativen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}/\text{KG}$) graphisch dargestellt (Abbildung 7, siehe Seite 23). Es läßt sich erkennen, daß zwischen Sauerstoffaufnahme pro kg KG einerseits und Herzminutenvolumen und Herzfrequenz andererseits in beiden Altersgruppen eine lineare Beziehung besteht. Dagegen zeigt die Beziehung zwischen Sauerstoffaufnahme und arteriovenöser Sauerstoffdifferenz einen angenähert hyperbolischen Verlauf. Demzufolge besteht auch zwischen Herzfrequenz und arteriovenöser Sauerstoffdifferenz keine lineare Beziehung. Es ergibt sich auch hier eine angenähert hyperbolische Kurve, wie Abbildung 8 erkennen läßt (Abbildung 8, siehe Seite 24).

TABELLE 4

Mittelwerte und Standardabweichungen der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$), des Herzminutenvolumens ($\dot{Q}$), der Herzfrequenz (HF), des Schlagvolumens (SV), der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz (a-v-O₂-Diff.) und der Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht ($\dot{V}_{O_2}/KG$) in Ruhe sowie auf zwei Belastungsstufen (I, II) in beiden Altersgruppen

		Jüngere Gruppe 8 - 11,5 Jahre n = 10		Ältere Gruppe 11,5 - 14 Jahre n = 10	
$\dot{V}_{O_2}$ l/min	R	0,22	+ 0,03	0,27	+ 0,07
	I	0,61	+ 0,10	0,87	+ 0,23
	II	0,97	+ 0,16	1,33	+ 0,34
$\dot{Q}$ l/min	R	4,5	+ 0,6	5,8	+ 1,5
	I	7,3	+ 0,7	10,0	+ 2,0
	II	9,6	+ 1,0	13,2	+ 3,0
HF min ⁻¹	R	93	+ 16	91	+ 11
	I	130	+ 11	135	+ 16
	II	169	+ 7	167	+ 11
SV ml	R	50	+ 9	64	+ 16
	I	56	+ 9	76	+ 15
	II	57	+ 5	81	+ 17
a-v O ₂ -Diff. ml/100 ml	R	5,0	+ 0,9	4,8	+ 1,5
	I	8,4	+ 1,4	8,7	+ 1,8
	II	10,1	+ 1,4	10,3	+ 2,5
$\dot{V}_{O_2}/KG$ ml/min/kg	R	7,2	+ 0,7	6,2	+ 0,8
	I	20,3	+ 3,7	20,2	+ 4,1
	II	32,5	+ 5,9	30,8	+ 4,9

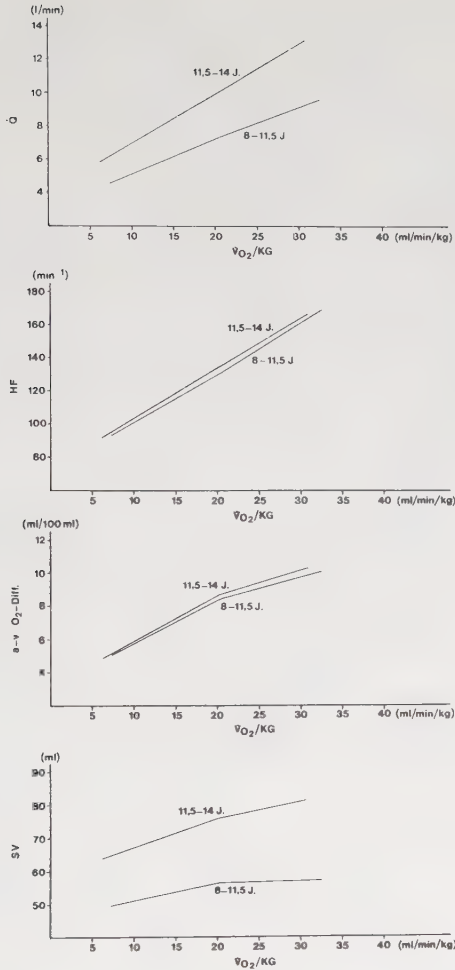


ABBILDUNG 7

Beziehungen zwischen Herzminutenvolumen ($\dot{Q}$), Herzfrequenz (HF), arteriovenöser Sauerstoffdifferenz ($a-v O_2-Diff.$) sowie Schlagvolumen (SV) einerseits und der Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht ($\dot{V}O_2/KG$) andererseits bei Jungen zweier Altersgruppen.

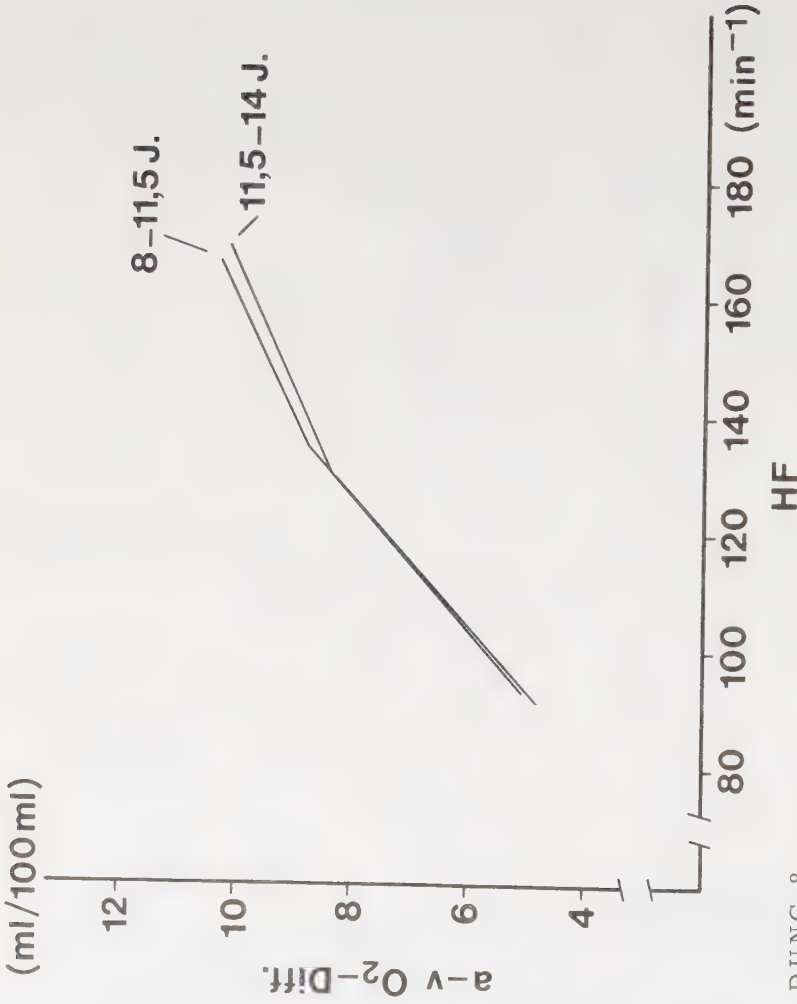


ABBILDUNG 8

Beziehungen zwischen arteriovenöser Sauerstoffdifferenz (a-v O₂-Diff.) und Herzfrequenz (HF) bei Jungen zweier Altersgruppen.

In Abbildung 9 sind die Regressionen zwischen den absoluten Werten der Sauerstoffaufnahme pro Minute und des Herzminutenvolumens für beide Altersgruppen aufgetragen. Zum Vergleich ist auch die aus den von EKBLOM et al. für junge Erwachsene angegebenen Werten errechnete Beziehung in Form einer gestrichelten Linie wiedergegeben. Das Herzminutenvolumen liegt bei den älteren Kindern nur wenig unter dem der jungen Erwachsenen und erreicht dieses sogar bei höherer Sauerstoffaufnahme. Dagegen liegen die jüngeren Kinder im gesamten Bereich unter den Erwachsenenwerten und unter den Werten der älteren von uns untersuchten Gruppe. Der Anstieg der Geraden für unsere beiden Gruppen ist etwas steiler als für Erwachsene. Die beiden Kurven unserer Kinder verlaufen nahezu parallel; im Mittel ist die Differenz der Herzminutenvolumina bei gleichen Sauerstoffaufnahmewerten etwas mehr als 1 l/min. Außerdem zeigt Abbildung 9 eine Kurvenschar, die im Nullpunkt zusammenläuft. Es sind Linien gleicher arteriovenöser Sauerstoffdifferenz. Sie veranschaulichen, daß sich bei steigender Sauerstoffaufnahme bzw. steigendem Herzminutenvolumen ein hyperbolischer Anstieg der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz ergeben muß (Abbildung 9, siehe Seite 26).

Für die Beziehungen zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzminutenvolumen, die in Abbildung 9 graphisch dargestellt sind, geben wir die Regressionsgleichungen beider Altersgruppen in Tabelle 5 wieder. Außerdem sind die Standardfehler und die Korrelationskoeffizienten angegeben. Durch die Signifikanzprüfung mit Hilfe des t-Tests ergab sich, daß beide Geraden auf dem 0,1 %-Niveau signifikant differieren und somit auch statistisch nicht identisch sind. Der Standardfehler der Regressionen bei den älteren Kindern ist relativ hoch. Dies ist durch die sehr unterschiedliche körperliche Entwicklung in dieser Altersgruppe, verglichen mit der jüngeren, bedingt (siehe dazu Tabelle 1).

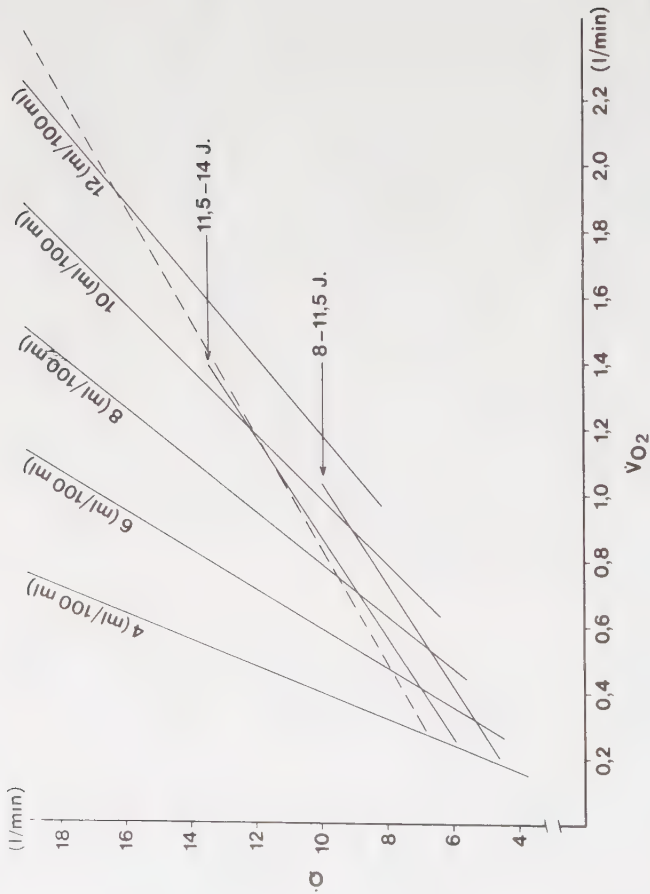


ABBILDUNG 9

Abhängigkeit des Herzminutenvolumens ($\dot{Q}$) von der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) bei Jungen zweier Altersgruppen. Gestrichelte Linie: Die nach den Werten von EKBLOM et al. errechnete Beziehung. Die auf den Nullpunkt konvergierende Kurvenschar enthält Linien gleicher arterieller Sauerstoffdifferenz.

TABELLE 5

Regressionsgleichungen, Standardfehler der Regressionen und Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$ l/min) und Herzminutenvolumen ($\dot{Q}$ l/min) in beiden Altersgruppen. Die beiden Regressionen sind mit einer Zufallswahrscheinlichkeit von $p < 1\%$ statistisch signifikant unterschiedlich.

	Jüngere Gruppe 8 - 11,5 Jahre	Ältere Gruppe 11,5 - 14 Jahre
Regressionsgleichung	$\dot{Q} = 3,3 + 6,4 \dot{V}_{O_2}$	$\dot{Q} = 4,3 + 6,5 \dot{V}_{O_2}$
Standardfehler der Regressionen	$s_{y \cdot x} = 0,77$	$s_{y \cdot x} = 1,93$
Korrelationskoeffizient	$r = 0,941$	$r = 0,863$

In der Tabelle 6 haben wir die mittleren Werte und Standardabweichungen der beiden W_{170} -Bestimmungen gegenübergestellt. W_{170}^{II} ist der Wert für die W_{170} während gleichzeitiger Bestimmung des Herzminutenvolumens, während W_{170}^I dem Mittel der Ergebnisse der Voruntersuchung entspricht. Die Werte der W_{170}^{II} , d.h. diejenigen mit liegendem Katheter, sind um etwa 10 % für beide Altersgruppen niedriger als die der W_{170}^I .

cher Sauerstoffaufnahme eine mittlere Differenz des Herzminutenvolumens von 1 l/min. Vergleicht man aber die Ergebnisse unserer älteren Gruppe mit den Werten des Herzminutenvolumens, das für Erwachsene von EKBLOM et al. sowie BEVEGARD, HOLMGREN und JONSSON angegeben wird, so ist nur ein geringer Unterschied festzustellen, der nach den oben ausgeführten theoretischen Überlegungen größer sein müßte.

Eine Erklärung hierfür wäre das Einlegen von venösen Kathetern, besonders aber arteriellen, bei unseren Probanden, was zu einer geringen hyperkinetischen Kreislaufsituation geführt hat, wie sie nach Untersuchungen von EMMRICH et al. bei Erwachsenen nicht selten ist. Bestätigt wird diese Vermutung durch die verschiedenen Ergebnisse der W_{170} bei unseren Kindern. So fanden wir, daß die Herzfrequenz bei den Untersuchungen mit liegenden arteriellen und venösen Kathetern und gleichzeitiger Bestimmung von Herzminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme um etwa zehn Schläge pro Minute höher war als auf gleichen Leistungsstufen bei der Voruntersuchung ohne Katheter.

Dem linearen Anstieg des Herzminutenvolumens mit der Sauerstoffaufnahme in dem von uns untersuchten Bereich bis zu durchschnittlich 32 ml O_2 /min/kg KG entspricht folgerichtig ein hyperbolischer Verlauf der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz mit steigenden Werten der Sauerstoffaufnahme. Dieses Ergebnis stimmt mit entsprechenden Untersuchungen an Kindern und Erwachsenen anderer Autoren überein.

Aus einigen Arbeiten, die auch höhere und maximale Werte der Sauerstoffaufnahme einschlossen, ergibt sich, daß in diesen Bereichen die Beziehung zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzminutenvolumen etwas

flacher verläuft als in Bereichen niedrigerer Belastungswerte. Eine ähnliche Beobachtung machten auch ERIKSON, GRIMBY und SALTIN bei ihren 13- bis 14-jährigen Probanden. Es ist deshalb nicht zulässig, aus den von uns gefundenen Beziehungen zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzminutenvolumen in beiden Altersgruppen linear in Richtung auf maximale Werte zu extrapolieren, sondern wir möchten eine Abflachung der Kurven im Bereich höherer und maximaler Sauerstoffaufnahmewerte nicht ausschließen.

V. ZUSAMMENFASSUNG

1. Es wird über Untersuchungen an 22 Jungen im Alter von 8 bis 14 Jahren berichtet, bei denen in Ruhe und während zwei submaximaler, ununterbrochener Belastungsstufen die Sauerstoffaufnahme, das Herzminutenvolumen und die Herzfrequenz bestimmt wurden. Außerdem wurden die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz sowie das Schlagvolumen und die Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht berechnet.
2. Dabei fand sich bei älteren und jüngeren Kindern ein linearer Anstieg des Herzminutenvolumens und der Herzfrequenz mit der Sauerstoffaufnahme, während die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz mit der Sauerstoffaufnahme hyperbolisch anstieg. Das Schlagvolumen

stieg in beiden Gruppen während der ersten Belastungsstufe gegenüber dem Ruhewert an, änderte sich aber bei weiterer Zunahme der Belastung nur geringfügig.

3. Die jüngeren Kinder transportierten gleiche Mengen Sauerstoff mit einem niedrigeren Herzminutenvolumen als die älteren, indem sie bei gleichen Werten der Sauerstoffaufnahme eine höhere arteriovenöse Sauerstoffdifferenz erreichten. Dagegen war die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz bei gleichen Werten der Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Körpergewicht nicht unterschiedlich.
4. Die gemessenen Werte wurden mit den von anderen Untersuchern bei Kindern und Erwachsenen gefundenen Werten verglichen.

VI. LITERATURVERZEICHNIS

- ASMUSSEN, E.; NIELSEN, M.:
Cardiac output in rest and work determined simultaneously by acetylene and dye injection methods.
Acta physiol. scand. 27, 217 (1952)
- ASTRAND, P.-O.: Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age.
Copenhagen, Munksgaard 1952
- ASTRAND, P.-O.; CUDDY, E.; SALTIN, B.; STENBERG, J.:
Cardiac output during submaximal and maximal work.
J. appl. Physiol. 19, 268 (1964)
- BAR-OR, O.; SHEPHARD, R.; ALLEN, C.:
Cardiac output of 10- to 13-year-old boys and girls during submaximal exercise.
J. appl. Physiol. 30, 219 (1971)
- BARRATT-BOYES, B. G.; WOOD, E. H.:
Hemodynamic response of healthy subjects to exercise in the supine position while breathing oxygen.
J. Appl. Physiol. 11, 129 (1957)
- BECKLAKE, M. R.; FRANK, H.; DAGENAIS, G. R.; OSTIGUY, G. L.; GUZMAN, C. E.:
Influence of age and sex on exercise cardiac output.
J. appl. Physiol. 20, 938 (1965)
- BENGTTSSON, E.: The working capacity in normal children, evaluated by submaximal exercise on the bicycle ergometer and compared with adults.
Acta med. scand. 154, 91 (1956)
- BEVEGARD, S.; HOLMGREN, A.; JONSSON, B.:
The effect of body position on the circulation at rest and during exercise, with special reference to the influence of the stroke volume.
Acta physiol. scand. 49, 279 (1960)

BEVEGARD, S.; HOLMGREN, A.; JONSSON, B.:

Circulatory studies in well trained athletes at rest and during exercise, with special reference to stroke volume and the influence of body position.

Acta physiol. scand. 57, 26 (1963)

BINK, B.; WAFELBAKKER, F.:

Physical working capacity at maximum levels of work, of boys 12-18 years of age.

Z. ärztl. Fortbild. 62, 957 (1968)

BOCK, A. V.; VANCAULAERT, C.; DILL, D. B.; FÖLLING, A.; HURXTHAL, L. M.:

Studies in muscular activity. III. Dynamical changes occurring in man at work.

J. Physiol. 66, 136 (1928)

BOOTHBY, W. M.:

A determination of the circulation rate in man at rest and at work.

Amer. J. Physiol. 37, 383 (1915)

CHRISTENSEN, E. H.: Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit. V. Minutenvolumen und Schlagvolumen des Herzens während schwerer körperlicher Arbeit.

Arbeitsphysiologie 4, 470 (1931)

DEXTER, L.; WHITTENBERGER, J. L.; HAYNES, F. W.; GOODALE, W. T.; GORLIN, R.; SAWYER, C. G.:

Effect of exercise on circulatory dynamics of normal individuals.

J. appl. Physiol. 3, 439 (1951)

DILL, D. B.; TALBOTT, J. H.; EDWARDS, H. T.:

Studies in muscular activity. VI. Response of several individuals to a fixed task.

J. Physiol. 69, 267 (1930)

DOUGLAS, C. G.; HALDANE, J. S.:

The regulation of the general circulation in man.

J. Physiol. 56, 69 (1922)

EKBLOM, B.; ASTRAND, P.-O.; SALTIN, B.; STENBERG, J.;
WALLSTRÖM, B.:

Effect of training on circulatory response to
exercise.

J. appl. Physiol. 24, 518 (1968)

EKELUND, L. G.; HOLMGREN, A.:

Central hemodynamics during exercise.

Circulat. Res. 20, Suppl. I, 33 (1967)

EMMRICH, J.; STEIM, H.; KLEPZIG, H.; MUSSHOFF, K.; REIN-
DELL, H.; BAUMGARTEN, B.:

Über den Einfluß blutiger Untersuchungsmetho-
den auf das Herzminutenvolumen.

Z. Kreislaufforschg. 47, 326 (1958)

ERIKSSON, B. O.:

Physical training, oxygen supply and muscle
metabolism in 11-13 year old boys.

Acta physiol. scand., Supp. 384 (1972)

ERIKSSON, B. O.; GRIMBY, G.; SALTIN, B.:

Cardiac output and arterial blood gases during
exercise in pubertal boys.

J. appl. Physiol. 31, 348 (1971)

ERIKSSON, B. O.; KOCH, G.:

Effect of physical training on hemodynamic
response during submaximal and maximal
exercise in 11-13 year old boys.

Acta physiol. scand. 87, 27 (1973)

GALLE, P.:

The oxygen consumption per litre of blood in
children.

Scand. Arch. Physiol. 47, 174 (1926)

GODFREY, S.; DAVIES, C. T. M.; WOZNIAK, E.; BARNES, C. A.:

Cardio-respiratory response to exercise in
normal children.

Clin. Sci. 40, 419 (1971)

GRANATH, A.; JONSSON, B.; STRANDELL, T.:

Circulation in healthy old men, studied by right
heart catheterization at rest and during exer-
cise in supine and sitting position.

Acta med. scand. 176, 425 (1964)

- GROLLMAN, A.: The determination of the cardiac output of man by the use of acetylene.
Amer. J. Physiol. 88, 432 (1929)
- HARTLEY, L.H.; GRIMBY, G.; KILBOM, A.; HILSSON, N.J.;
ASTRAND, I.; BJURE, J.; EKBLOM, B.; SALTIN, B.:
Physical training in sedentary middleaged and older man. III. Cardiac output and gas exchange at submaximal and maximal exercise.
Scand. J. clin. Lab. Invest. 24, 335 (1969)
- HEGGLIN, M.; RUTISHAUSER, W.; HEGGLIN, R.:
Klinische Anwendung der Farbstoffkurven zur Bestimmung von Kreislaufgrößen.
Schweiz. med. Wschr. 90, 103 (1960)
- HENDERSON, Y.; HAGGARD, H.W.; DOLLEY, F.S.:
The efficiency of the heart, and the significance of rapid and slow pulse rates.
Amer. J. Physiol. 82, 512 (1927)
- HOLMGREN, A.: Cardiorespiratory determinants of cardiovascular fitness.
Canad. Med. Ass. J. 96, 697 (1967)
- HOLMGREN, A.; JONSSON, B.; SJÖSTRAND, T.:
Circulatory data in normal subjects at rest and during exercise in recumbent position, with special reference to the stroke volume at different work intensities.
Acta physiol. scand. 49, 343 (1960)
- HOLMGREN, A.; OVENFORS, C.O.:
Heart volume at rest and during muscular work in the supine and in the sitting position.
Acta med. scand. 167, 267 (1960)
- KAHLSTORF, A.; UDE, H.:
Die Änderungen von Herzvolumen und Schlagvolumen nach körperlicher Arbeit.
Z. klin. Med. 125, 85 (1933)

- KAUFMANN, G.: Über Kreislaufzeiten und Blutverteilung bei Arbeit.
Cardiologia 30, 102 (1957)
- KROGH, A.; LINDHARD, J.: Measurements of the blood flow through the lungs of man.
Scand. Arch. Physiol. 27, 100 (1912)
- LANGE-ANDERSEN, K.; ELSNER, R.; SALTIN, B.; HERMANSEN, L.: Physical fitness in terms of maximal oxygen uptake of nomadic Lapps.
Report to U. S. A. F. (1961)
- LILJESTRAND, G.; ZANDER, E.: Vergleichende Bestimmungen des Minutenvolumens des Herzens beim Menschen mittels der Stickoxydulmethode und durch Blutdruckmessung.
Z. ges. exp. Med. 59, 105 (1927)
- LINDHARD, J.: Über das Minutenvolumen des Herzens bei Ruhe und bei Muskularbeit.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 161, 233 (1915)
- MEREDITH, H. V.: Percentiles for weight and height.
In: Nelson, W. E. (Ed.), Textbook of Pediatrics, p. 50.
Philadelphia, Saunders 1964
- MOCELLIN, R.; WASMUND, U.: Investigations on the influence of a running-training programme on the cardio-vascular and motor performance capacity in 8 to 9-year old boys and girls.
Proc. 4th Intern. symp. Paediat. Work Physiol., Wingate Institute, Israel 1972
- MUSSHOFF, K.; REINDELL, H.; STEIN, H.; KÖNIG, K.: Die Sauerstoffaufnahme pro Herzschlag (O_2 -Puls) als Funktion des Schlagvolumens, der arteriovenösen Differenz, des Minutenvolumens und des Herzvolumens.
Z. Kreislaufforschg. 48, 255 (1959)

- NIELSEN, H. E. : Clinical investigations into the cardiac output of patients with compensated heart disease during rest and during muscular work.
Acta med. scand. 91, 223 (1937)
- REEVES, J. T.; GROVER, R. F.; BLOUNT, S. G.; FILLEY, G. F. : Cardiac output response to standing and treadmill walking.
J. appl. Physiol. 16, 283 (1961)
- ROBINSON, S. : Experimental studies of physical fitness in relation to age.
Arbeitsphysiologie 10, 251 (1938)
- ROWELL, L. B. : Factors affecting the prediction of maximal oxygen intake from measurements made during submaximal work with observations related to factors which may limit maximal oxygen intake (thesis).
Minneapolis, Minn., University of Minnesota 1962
- RUSHMER, R. F. : Constancy of stroke volume in ventricular responses to exertion.
Amer. J. Physiol. 196, 745 (1959)
- SALTIN, B.; BLOMQVIST, G.; MITCHELL, J. H.; JOHNSON, R. L.; WILDENTHAL, K.; CHAPMAN, C. : Response to exercise after bedrest and training.
Circulation 38, Suppl. VII (1968)
- SCHNEIDER, E. C.; CRAMPTON, C. B. : The cardiovascular responses of praedolescent boys to muscular activity.
Amer. J. Physiol. 114, 473 (1936)

Herrn Prof. Dr. med. K. Betke bin ich zu großem Dank verpflichtet, daß ich die vorliegenden Untersuchungen an der Universitäts-Kinderklinik durchführen durfte.

Herrn Prof. Dr. med. K. Bühlmeyer danke ich für die Überlassung des Themas, für seinen Rat bei der Durchführung der Untersuchungen und seine freundliche Geduld bei der Abfassung der Arbeit.

VII. LEBENSLAUF

Am 11.10.1942 wurde ich, Jochen Kurt Walter Sebening, als fünfter Sohn des ao. Professors für Chirurgie, Dr.med. Karl Albert Walter Sebening und seiner Ehefrau Dr.med. Herta Sebening, geb. Schumacher, in Mannheim geboren. Am 7.8.1942 war mein Vater im Wehrdienst verstorben.

1967 heiratete ich Ursula Greve. Meine beiden Töchter sind jetzt sechs und zwei Jahre alt.

Die Volksschule besuchte ich in Saig im Schwarzwald. 1962 beendete ich mit der Reifeprüfung das Neusprachliche Gymnasium in Neustadt im Schwarzwald. Das vorklinische Studium an der Universität Heidelberg beendete ich nach fünf Semestern am 27.10.1964 mit der ärztlichen Vorprüfung. Anschließend verbrachte ich zwei Semester an der Universität Kiel. Mit dem Wintersemester 1965/66 nahm ich das Studium an der Universität Heidelberg wieder auf, um es am 23.12.1968 mit der ärztlichen Prüfung zu beenden. Im Jahr 1969 arbeitete ich als Medizinalassistent je sechs Monate auf der chirurgischen und internen Abteilung des Kreiskrankenhauses Kirchheimbolanden/Pfalz. Am 5.1.1970 wurde mir die Approbation als Arzt erteilt. Seit Februar 1970 arbeitete ich in der kardiologischen Abteilung der Universitäts-Kinderklinik München. Zunächst beschäftigte ich mich im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 37 der medizinischen Fakultät mit Problemen der Leistungsfähigkeit bei Kindern, insbesondere bei solchen mit Herzfehlern. Im Sommer 1972 begann ich meine Weiterbildung zum Facharzt für Kinderkrankheiten, wobei die Haupttätigkeit im kinderkardiologischen Bereich lag. Nach längerer Ausbildung in der kinderkardiologischen Ambulanz erlernte ich auch die Technik des Herzkatheterismus. Zur weiteren pädiatrischen Ausbildung wurde ich ab Herbst 1973 auf allgemeinen Stationen der Klinik eingesetzt. Diese Ausbildung wird durch die Einberufung zum Wehrdienst unterbrochen. Seit 1.4.1974 diene ich am Flugmedizinischen Institut der Luftwaffe in Fürstenfeldbruck als Stabsarzt.

